

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

Faculty of mechanical engineering
Institute of Automation and Computer Science

MĚŘENÍ TEPLoty POMOCÍ MIKROKONTROLÉRU

TEMPERATURE MEASUREMENT WITH MICROCONTROLLER AID

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK HARČÁR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. DANIEL ZUTH

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2006/07

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Harčár František

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření teploty pomocí mikrokontroléru

v anglickém jazyce:

Temperature Measurement with Microcontroller Aid

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jednou z možností řešení automatizace procesů i automatizace měření jsou dnes systémy, realizované pomocí relativně jednoduchých, spolehlivých a hlavně dostupných mikrokontrolérů. Navrhněte takový jednodušší měřicí systém, využitelný ve výuce i praxi.

Cíle bakalářské práce:

Navrhněte a realizujte laboratorní úlohu, která využije vhodný mikrokontrolér pro aplikaci měření teploty. Doporučená osnova práce:

- 1.Možnosti mikrokontrolérů a výběr vhodného typu
- 2.Základy teorie měření teploty
- 3.Návrh úlohy a odladění programu
- 4.Metodika práce s navrženou úlohou a vzorové měření

Seznam odborné literatury:

JENČÍK, Josef; Volf, Jaromír. Technická měření : 1.vydání Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.

CHUDÝ, Vladimír; Palenčár, Rudolf; Kureková, Eva; Halaj, Martin. Meranie technických veličín : 1.vydání Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.

MANN, Burkhard; C pro mikrokontroléry. 1. vydání : Praha: BEN – technická literatura 2004. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.

SLÁDEK, Zdeněk; Vdoleček, František. Technická měření : 1.vydání Brno : Nakladatelství VUT, 1992. 220 s. ISBN 80-214-0414-0.

Časopisy AUTOMA, AUTOMATIZACE, apod.

Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Daniel Zuth

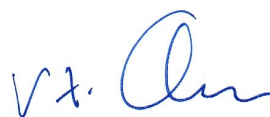
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2006/07.

V Brně, dne 22.11.2006

L.S.



doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

ABSTRAKT

Práce popisuje možnosti využití levných mikrokontrolérů k měření teploty. Navržený modul je vhodný jak pro laboratorní výuku, tak i pro využití v automatizaci. Po stručném úvodu je vysvětlen obecně pojem „měření“ a zmíněna historie měření. Poté je krátce zmíněna historie a vývoj měření teploty a druhy používaných senzorů. Dále je vysvětlen princip a porovnání základních typů mikrokontrolérů vybraných výrobců. Následuje vlastní práce, popis, princip, schéma zapojení a metodika měření. V závěru je provedeno vyhodnocení práce a její přínos.

ABSTRACT

The thesis focuses on possibilities how to use inexpensive microcontrollers for temperature measurement. The designed module is appropriate both for laboratory curriculum, as well as for application in automation industry. A brief introduction is followed by a general explanation of the notion „measurement“ and a measurement history overview. Afterwards, there is a focus on history and development of temperature measurement and types of applied sensors. Consequently, there is the thesis itself, its description, principles, connection scheme and measurement methodology. Finally, the thesis regards its commitment and findings.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrokontrolér, měření, teploměr, LM35, ATMEL, ATMega8, pařeniště, regulátor

KEYWORDS

Microcontroller, measuring, thermometer, LM35, ATMEL, ATMega8, hotbed, regulator

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing.Danielu Zuthovi, vedoucímu mé bakalářské práce a Ing.Františku Vdolečkovi za cenné připomínky, vstřícnou spolupráci a trpělivost.

Obsah:

	Zadání bakalářské práce.....	3
	Licenční smlouva.....	5
	Seznam a vysvětlení použitých zkratk.....	11
1	Úvod.....	13
2	Teorie měření.....	15
2.1	Metrologie.....	15
2.1.1	Kategorie metrologie:.....	15
2.1.2	Některé důležité pojmy.....	15
2.2	Národní metrologický systém.....	16
2.3	Metody měření.....	16
2.4	Měřicí přístroje.....	17
3	Měření teploty	19
3.1	Historie.....	19
3.2	Senzory a teploměry pro automatizaci.....	19
3.2.1	Kovové odporové senzory.....	19
3.2.2	Polovodičové odporové senzory.....	20
3.2.3	Monolitické PN senzory.....	21
3.2.4	Termoelektrické články.....	21
3.2.5	Dilatační teploměry.....	21
3.2.6	Speciální dotykové senzory.....	22
3.2.7	Indikátory teploty.....	22
3.2.8	Bezdotykové měření teploty.....	22
4	Mikrokontroléry.....	23
4.1	Instrukční sady CISC a RISC	24
4.2	Organizace paměti.....	25
4.3	Některé známé rodiny mikrokontrolérů.....	25
4.4	Seznam nejznámějších výrobců:mikrokontrolérů.....	26
4.5	Atmel AVR ATmega8.....	26
5	Vlastní konstrukce.....	29
5.1	Schéma regulačního obvodu.....	29
5.2	Model pařeniště.....	29
5.3	Seznam použitých součástek.....	30
5.4	Realizace obvodu.....	30
5.5	Naprogramování mikrokontroléru.....	30
5.6	Program „Pařeniště“.....	31
6	Metodika měření.....	33
6.1	Kalibrace.....	33
6.2	Měření.....	33
6.3	Výsledky měření	33
7	Závěr.....	35
7.1	Přínosy.....	35
7.2	Další možnosti.....	35
7.3	Obsah přiloženého CD-ROM.....	35
8	Přílohy.....	37
8.1	Schéma ISP programátoru STK200	37
8.2	Schéma měřicího a regulačního obvodu.....	37
8.3	Program v jazyku C pro MCU.....	38
9	Seznam použité literatury.....	41

SEZNAM A VYSVĚTLENÍ POUŽITÝCH ZKRATEK

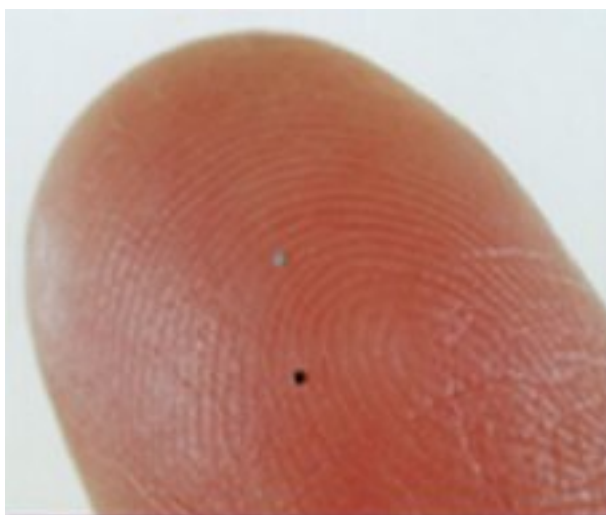
- AVR** - (Advanced Virtual RISC nebo Alf and Vegard RISC) Obchodní značka pro rodinu mikrokontrolérů firmy Atmel.
- ADC** – (Analog/Digital Converter) analogově digitální převodník
- CISC** - (Complex Instruction Set Computer) Kompletní sada instrukcí
- ČMI** – Český metrologický institut
- EEPROM** - (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) také E²PROM – elektronicky přepisovatelná programovatelná paměť ROM
- I/O** – (input/output) – vstupně výstupní
- I²C** - (Inter-Integrated Circuit) dvou vodičová datová sběrnice
- ISP** - (In System Programming) sériové rozhraní určeno k programování MCU
- MCU** – (MicroController Unit) Mikrokontrolér
- PDIP** – (Plastic Dual Inline Package) – plastový obal dvouřadý pro mikročipy
- PWM** - (Pulse Width Modulation) je proces, při kterém dochází ke změně šířky pulsu nějakého nosného signálu. Slouží k řízení stejnosměrných elektromotorů.
- RISC** – (Reduced Instruction Set Computer) Omezená sada instrukcí
- SPI** - (Serial Peripheral Interface) sériové rozhraní pro komunikaci mezi MCU a programátorem
- SRAM** – (Static Random Access Memory)
- TWI** – (Two Wire Interface) – Dvou vodičová sběrnice, obdoba I2C, sériová komunikace mezi čipy
- USART** - (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) rozhraní pro obousměrný sériový přenos dat

1 ÚVOD

S vývojem elektroniky a počítačových systémů jde ruku v ruce i automatizace. V dnešní době je snaha automatizovat co nejvíce procesů jak ve výrobní, tak i v předvýrobní a povýrobní etapě. Počátky automatizace sahají na samý počátek lidstva, kdy byly realizovány první zavlažovací systémy, ale taky vynalézání loveckých pastí lze považovat za jistý druh automatizace. Výsledkem bývá snížení podílu lidské práce, zrychlení procesu, zkvalitnění procesu a tím také výrazné zefektivnění dané činnosti.

Teplota má vliv na většinu fyzikálních vlastností látek a proto je jednoznačně nejsledovanější fyzikální veličinou v automatizaci. V každé domácnosti se lze setkat s mnoha procesy, kde je využíváno měření teploty v automatizovaném procesu (pračky, lednice, počítače, bojler, vytápění, žehličky, klimatizace, automobily, apod.).

Se snižováním cen integrovaných obvodů, zvyšováním jejich integrace, odolnosti a miniaturizace, proniká počítačové řízení procesů do všech výrobních i nevýrobních oblastí a nahrazuje dosavadní zastaralé a nákladnější systémy. Mikrokontroléry lze zjednodušeně považovat za malé počítače umožňující programově řídit procesy. Jejich běžná velikost je srovnatelná s velikostí malé mince, nicméně u vysoce specializovaných mikrokontrolérů



Obr 1: Dva mikročipy Hitachi

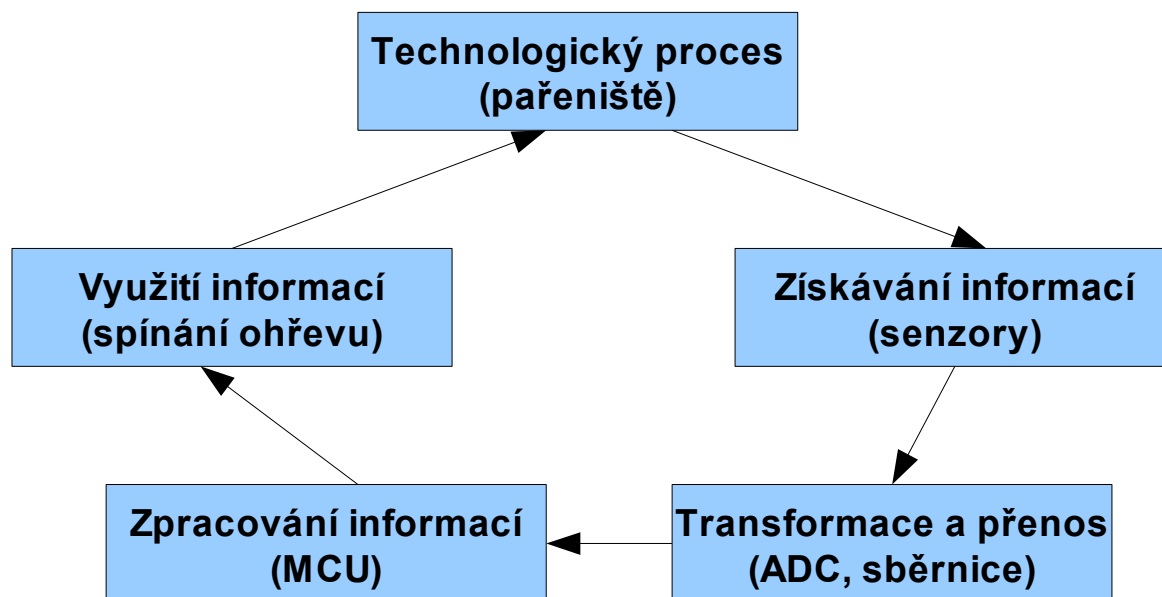
lze dosahovat velikostí hraničící s viditelností součástky (obr 1).

Tato práce se zabývá problémem měření teploty pomocí mikrokontrolérů, ale lze ji po menších úpravách využít i k měření dalších fyzikálních veličin. Konstrukce je jednoduchá a nenákladná a lze ji využít jak při laboratorní výuce, tak i při automatizaci procesů. Modul je konstruován jako víceúčelový, tudíž výměna klíčových součástí modulu nečiní žádné potíže. Přeprogramování lze provést připojením programátoru STK200 přímo k modulu, nebo vyjmutím mikrokontroléru z modulu a naprogramováním pomocí jiného programátoru. Schéma jednoduchého programátoru STK200 je uvedeno v **příloze 8.1**. Veškeré programy použité při konstrukci modulu jsou volně šířitelné (freeware).

Software pro příjem dat do PC je standardní výbavou operačních systémů. Pro snadnější měření jsem naprogramoval vlastní aplikaci v programovacím prostředí Lazarus postaveném na jazyku FreePascal.

Pokud bych měl práci popsat z hlediska automatizace a řízení, jde o tyto části technologického procesu (Obr. 2):

- technologický proces (prostředí pařeniště)
- členy pro získávání informací (senzory, čidla)
- členy pro transformaci a přenos (AD převodník integrovaný v mikrokontroléru)
- členy pro zpracování (mikrokontrolér)
- zobrazovací jednotka (počítač)



Obr 2: Schéma regulačního obvodu

2 TEORIE MĚŘENÍ

Považuji za nezbytné se zde alespoň obecně zmínit o měření, neboť obecná znalost problému měření obsluhy jakéhokoliv automatizovaného systému je předpokladem pro bezporuchovou funkci celého procesu. Naprostá většina moderních regulovaných soustav totiž musí ze systému dostávat informace o jeho stavu a právě tyto informace získává především měřením. Naměřené stavy mikrokontrolér vyhodnocuje a na jejich základě ovládá akční členy soustavy (motory, ventily apod.) a tím řídí celou soustavu.

Stejně jako počátek automatizace lze datovat k samotným počátkům lidstva, lze sem zařadit i měření. Lidé si od pradávna neustále vyměňují informace o stavech objektů. Tyto informace sami mnohdy získávají pomocí měření. Málokdo si uvědomuje, že i výroky jako studený, vlažný, teplý, horký, vařící nebo žhavý jsou výsledkem nějakého fuzzy měření a lze je individuálně definovat a pracovat s nimi a v současné době se jim věnuje zvýšená pozornost.

2.1 Metrologie

Metrologie je vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkajícími se měření, je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí. Jednotné a přesné měření je předpokladem vzájemné důvěry při směně zboží, ale stále více i jednou z nutných podmínek jakékoliv efektivní výroby.

Zabývá se:

- definováním jednotek měření
- realizaci jednotek, etalony
- návazností měření

2.1.1 Kategorie metrologie:

- fundamentální metrologie - jednotky, fundamentální konstanty, etalony
- průmyslová metrologie - zabezpečuje jednotnost a správnost měření ve výrobě, zkušebnictví
- legální metrologie - zabývá se měřením tam, kde má vliv na správnost obchodního styku, ochranu zdraví nebo bezpečnosti

2.1.2 Některé důležité pojmy

- Nejistota měření
je parametr vztahující se k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, které je možné přiřadit k měřené veličině
- Stanovení nejistoty měření
 - typu A – metoda stanovení nejistoty je založená na statistickém vyhodnocení série pozorování
 - typu B – metoda stanovení nejistoty měření je založená na jiném principu, než statistickém vyhodnocení série pozorování
- Standardní nejistota měření
je nejistota měření vyjádřená jako směrodatná odchylka
- Rozšířená nejistota měření
je veličina definující interval okolo výsledku měření, do kterého lze zařadit velkou část hodnot měřené veličiny
- Koeficient rozšíření
číslo, kterým se vynásobí standardní nejistoty měření, čímž se získá rozšířená nejistota měření

- Pravděpodobnost pokrytí
podíl z rozdělení hodnot, které mohou být jako výsledek měření přiřazeny měřené veličině

2.2 Národní metrologický systém

Metrologie je věda o měření. Je řízena mezinárodními organizacemi, které se ve svých důsledcích starají o jednotnost měření, pečují o jednotky a etalony měřidel používaných v praxi.

- veličiny a jejich jednotky – etalony
- metody měření
- prostředky měření provozního charakteru (měřidla)
- vlastnosti a schopnosti osob – pozorovatelů
- péče o fyzikální konstanty a vlastnosti látek a materiálů

2.3 Metody měření

Metody měření můžeme obecně dělit podle různých kritérií např. dle:

- způsobu určení měřené veličiny
 - definiční – korespondují se základní definicí veličiny
 - odvozené – je odvozena na jiných principech a základech než základní definice veličiny
- způsobu získání měřené hodnoty
 - Přímé - veličina se měří přímo – prostřednictvím stejné veličiny. Dále je můžeme členit na:
 - porovnávací (komparační) – přímé porovnání veličin stejného druhu, např. čárkové měřidlo
 - vyrovnávací (kompenzační) – časté zejména jako můstkové metody v elektrotechnice apod. účinek je vyrovnán, vyvážen, veličinou stejného druhu
 - nulové výchylky - kompenzace je provedena zcela na nulu
 - rozdílové – kompenzována je převážná část účinku a zbytek doměřen
 - výchylkové – převážná až úplná část vlivu je nevyrovnána a doměřena
 - Nahrazovací (substituční) – účinek veličiny je nahrazen jinými známými hodnotami téže veličiny
 - Přemísťovací (transpoziční) jedná se o postupné přemísťování měřené veličiny a známých hodnot téže veličiny
 - Nepřímé – veličina je měřena zprostředkovaně přes jiné veličiny a její hodnota vypočtena, či jinak nepřímo určena
- způsobu snímání veličiny
 - bezdotykové
 - dotykové
- druhu měřené veličiny
 - mechanické
 - optické
 - elektrické
 - ...

2.4 Měřicí přístroje

Měřicí přístroj je zařízení sloužící k zjišťování hodnot měřené veličiny. Příkladem může být kapesní digitální multimetr DM503 umožňující měřit mnoho elektrických veličin (obr.3).

Dle principu můžeme měřicí přístroje dělit na:

- Elektrické
- Mechanické
- Pneumatické
- Optické

Dle použité metody měření:

- Výchylkové
- Kompenzační
- Součtové – integrační

Podle funkce na

- Indikační
- Registrační
- Řídící
- Ovládací
- Hlásící

Základní statické vlastnosti měřicích přístrojů:

- Přesnost
- Citlivost
- Spolehlivost
- Životnost



Obr 3: Kapesní digitální multimetr DM503

3 MĚŘENÍ TEPLOTY

Měření teploty je nejčastěji užívané měření vůbec. Naprostá většina fyzikálních vlastností je na teplotě závislá a toho se při měření teploty využívá. Teplota je jedna z mála veličin, kterou nelze měřit přímo. Zde se věnuji podrobněji pouze nejdostupnějším a nejčastěji využívaným technologickým řešením. Pro hlubší studium oboru doporučuji odbornou literaturu [9].

3.1 Historie

Pomineme-li měření teploty lidskými smysly a budeme uvažovat pouze technické prostředky, byl průkopníkem měření Galileo Galilei, jež vyvinul první termoskop. Tento termoskop je schopen reagovat na změny teploty, ovšem jeho nevýhodou je, že reaguje i na změny atmosférického tlaku. Baňka na horní straně skleněné trubičky se zahřála dlaní a poté se trubička otevřeným koncem ponořila do kádinky s kapalinou, která byla vlivem tepelné roztažnosti vzduchu do trubičky nasávána či z ní vytlačována.

3.2 Senzory a teploměry pro automatizaci

3.2.1 Kovové odporové senzory

Senzory využívají teplotní závislost odporu kovu. Jedním ze základních parametrů odporových snímačů je poměr odporu R_{100} při teplotě 100°C a R_0 při teplotě 0°C . Tento poměr se označuje písmenem W a platí

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}$$

Pro malý rozsah teplot je ($0\text{--}100^{\circ}\text{C}$) lze s určitou nejistotou používat lineární vztah

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha t) ,$$

kde α je střední hodnota tepelného součinitele odporu a lze ji vypočítat

$$\alpha = \frac{(R_{100} - R_0)}{100 \cdot R_0} .$$

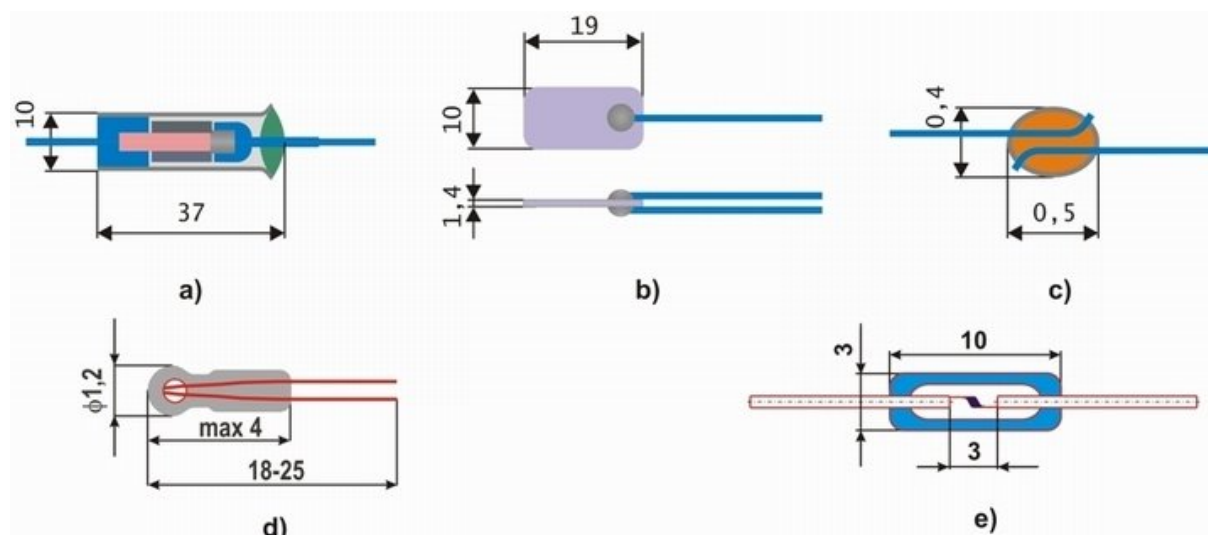
- **Platinové** - Platina se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání. Pro čistotu platiny u provozních snímačů teploty (Pt 100) je normou IEC-751 (IEC-ČSN 751) předepsán poměr elektrického odporu $W_{100} = 1,385$. Senzory se vyrábí pro teploty od -200°C do 1100°C .
- **Niklové** - Niklová čidla teploty jsou většinou vyráběny tenkovrstvou technologií. Výhodou niklových snímačů je velká citlivost, rychlá odezva a malé rozměry. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah a vůči platině značná nelinearita, horší dlouhodobá stabilita a odolnost vůči působení prostředí. Podobně jako platinová čidla se kromě základní hodnoty odporu $R_{100} = 100\ \Omega$ vyrábějí snímače se základní hodnotou odporu 200, 500, 1000 a 2000 ohmů. Vyrábí se pro teploty od -70°C do 200°C .

- **Měděné** - Měď se používá v teplotním rozsahu od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Závislost odporu měděného čidla na teplotě lze v rozsahu teplot od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ považovat za lineární. Vzhledem k malému odporu mědi (6 x menší než u platiny) a snadné oxidaci mědi se měděné snímače teploty běžně nevyrábějí. Výhodnou aplikací teplotní závislosti mědi je např. přímé měření teploty měděného vinutí elektrických strojů prostřednictvím měření odporu vinutí (samozřejmě při vypnutém napájení motoru).

3.2.2 Polovodičové odporové senzory

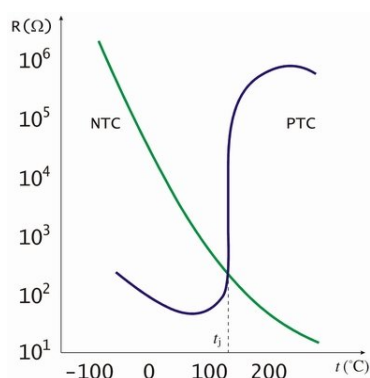
Polovodičové odporové senzory využívají stejně jako kovové odporové senzory teplotní závislost odporu.

- **Termistory** – Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z feroelektrických keramických materiálů. Výhodami jsou velká teplotní citlivost a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární charakteristika. Termistory se dle struktury dělí na amorfnní a polykrystalické. V závislosti na použitém materiálu má buď velký záporný součinitel odporu, tzv. negastor nebo velký kladný součinitel odporu tzv. Pozistor. Vyrábí se pro teploty od -80°C do 1000°C .



Obr 4: Provedení termistor; a)

- **Negastory** – NTC termistory (Negative Temperature Coefficient) jsou funkčně charakteristické tím, že s rostoucí teplotou klesá odpor. V praxi jsou až na výjimky používány právě negastory.
- **Pozistory** – PTC termistory (Positive Temperature Coefficient) jsou funkčně charakteristické tím, že s rostoucí teplotou roste i velikost odporu. V praxi se téměř nepoužívají.



Obr 5: Statická charakteristika termistorů

- **Monokrystalické senzory** – zhotovují se převážně z křemíku, ale lze použít i germánia, india nebo jejich slitiny.

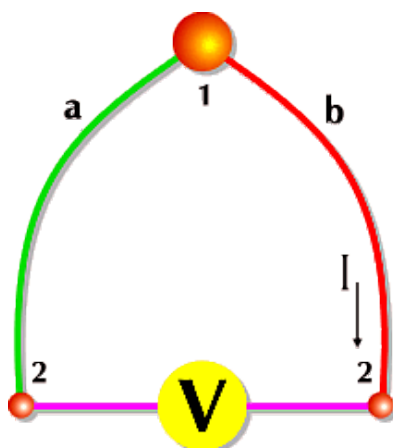
3.2.3 Monolitické PN senzory

Integrované monolitické senzory teploty jsou nejčastěji založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Vyrábí se pro teploty od -55°C do $+150^{\circ}\text{C}$.

- Diodové PN senzory
- Tranzistorové PN senzory
- Monolitické PN senzory

3.2.4 Termoelektrické články

Termoelektrické články jsou založeny na Seebeckově jevu. Seebeckův jev se projevuje u dvou vodičů A a B, u kterých je udržována teplota jejich spojů na rozdílných teplotách $T_1 > T_2$. V obvodu se objeví napětí a začne jím protékat proud. Seebeckův jev se tedy projeví vznikem termoelektrického napětí.



Obr 6: Princip termoelektrického článku - 1 - spoj s vyšší teplotou, 2-2 - spoj s nižší teplotou, a,b - dva různé vodivé materiály, I - procházející proud, V - voltmetr

Při spojení kovových vodičů a rozdílu teplot asi 100°C vznikají pouze velmi malá termoelektrická napětí (milivolty). Rozvojem polovodičové techniky se dosahuje stokrát vyšších termoelektrických napětí, než s kovovými vodiči.

Polovodičový termoelektrický článek má dvě části z různě zpracovaného polovodičového materiálu, které jsou spojeny kovem. Sériovým řazením většího počtu termoelektrických článků vznikají termoelektrické baterie. Význam termoelektrických článků stoupá s využitím tepelné sluneční energie. Lze jich využívat i u snímačů, pro měření teploty v extrémních prostředích, pro chlazení atd.

3.2.5 Dilatační teploměry

- Tyčové teploměry
- Bimetalické teploměry
- Bimateriálová čidla
- Skleněné teploměry
- Kapalinové tlakové teploměry
- Parní tlakové teploměry
- Plynové tlakové teploměry

3.2.6 Speciální dotykové senzory

- Akustické teploměry
- Krystalové teploměry
- Šumové teploměry
- Magnetické teploměry

3.2.7 Indikátory teploty

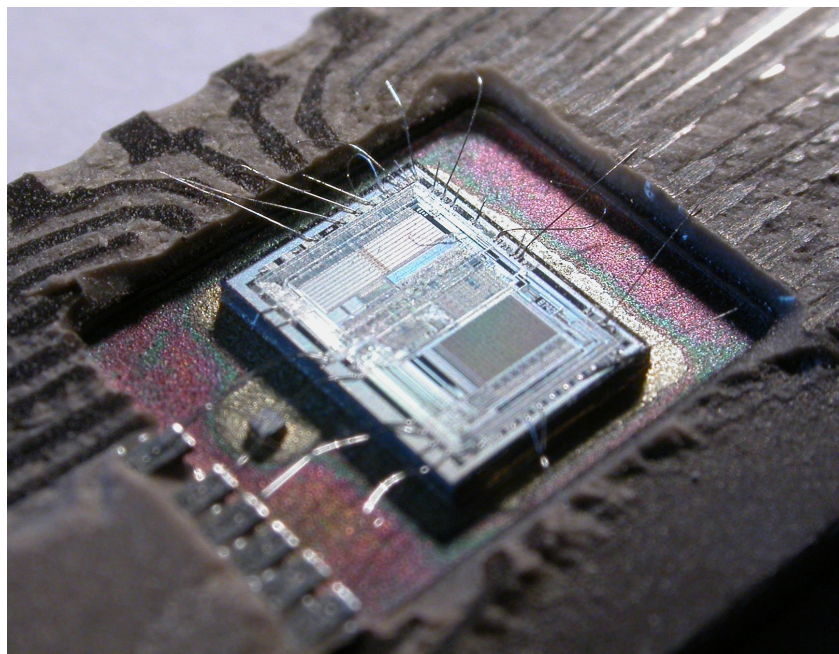
- Keramické žároměrky
- Tavné indikátory
- Barevné indikátory

4 MIKROKONTROLÉRY

Úspěchy ve zvyšování stupně integrace vedly v 70 letech minulého století ke konstrukci prvního mikroprocesoru. A tak byl 15. listopadu 1971 firmou INTEL představen první mikroprocesor na světě, se skromným označením 4004.

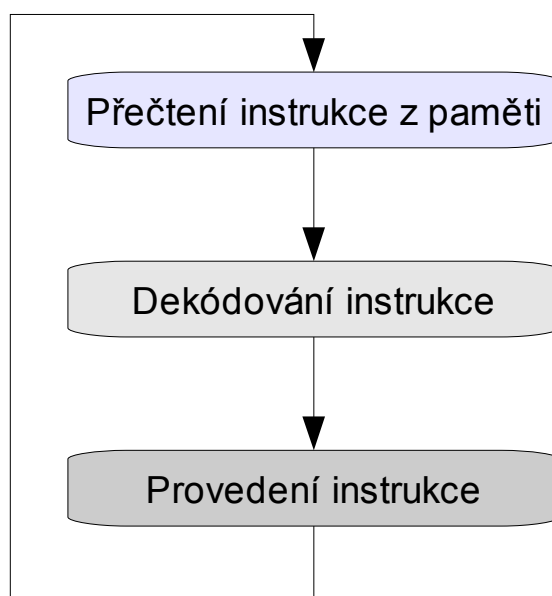
Vývoj od toho roku 1971 byl obrovský a to jak v technologické oblasti a v parametrech, ale i filozofie aplikací se rozšířila do směrů dříve netušených. To však sebou nutně přináší potřebu pojmenovávat nové, abychom byli schopni se dorozumět. A tak se setkáváme v zásadě se třemi pojmy:

- **Mikroprocesor** – je svému předkovi v principu nejbližší. Dnes je základem počítačů a bez paměti a podpůrných obvodů prakticky není schopen samostatné činnosti. Jeho hlavní charakteristika je úplný soubor instrukcí a Neumannova architektura.
- **Jednočipový mikropočítač** – vznikl na základě myšlenky integrovat do jedné součástky všechno potřebné tak, aby byl schopen samostatné funkce, nejvýše s několika pasivními součástkami okolo. V případě potřeby je však možné rozšíření např. o přídatnou RAM paměť. Jeho hlavní charakteristika je omezený soubor instrukcí a Harvardská architektura.
- **Mikrokontrolér** – na vývoji tohoto druhu součástek se podílelo především ekonomické hledisko. Jednočipové mikropočítače jsou univerzální a jako takové jsou dražší už třeba potřebou vícevývodových pouzder. Pro dosažení příznivější ceny vznikly obvody u nichž byla obětována univerzálnost. V řadě případů bylo použito řešení, kdy jednočipový mikropočítač je zapouzdřen do malého pouzdra a tak je znemožněno další rozšiřování. Hranice mezi těmito dvěma pohledy na řešení je tedy velmi neostrá a jako dobré kritérium je možné použít právě možnost rozšíření.



Obr 7: Řez 8-bitovým mikrokontrolérem Intel 8742, CPU 12 MHz, 128 bytů RAM, 2048 bytů EPROM a I/O porty

Mikroprocesor, při vší účtě k jeho výkonům, není schopen dělat nic jiného, než je ukázáno na obrázku 8. Mikroprocesor přečte instrukci z paměti, provede její dekódování a pak instrukci provede.



Obr 8: Instrukční cyklus

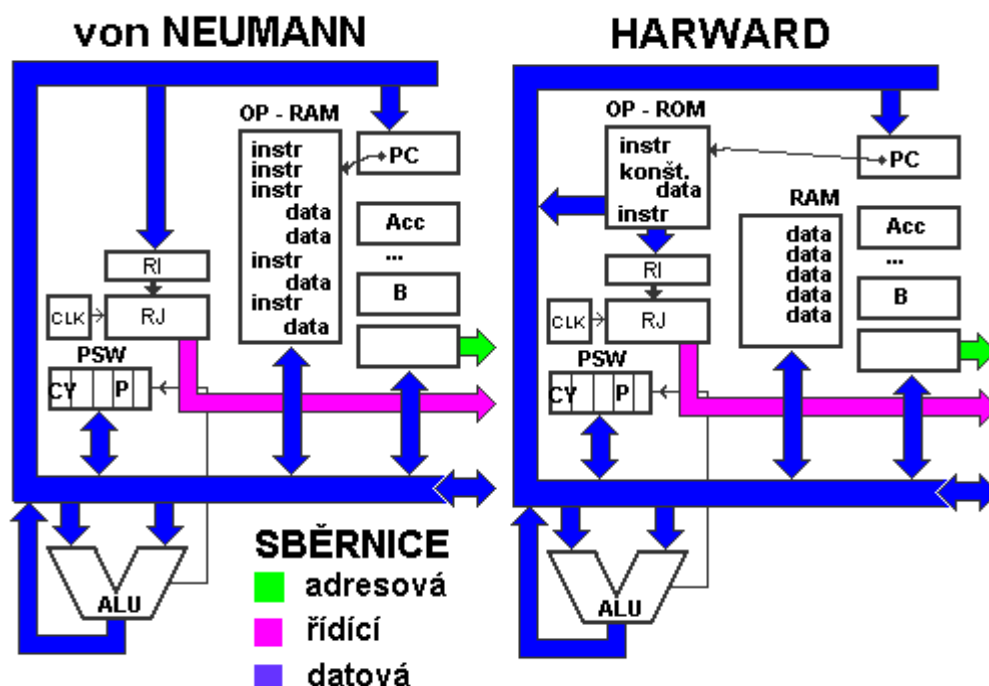
Úkolem programátora je poté připravit do paměti instrukce v takové posloupnosti, aby mikroprocesor resp. mikrokontrolér jejich vykonáním udělal to co chcete.

4.1 Instrukční sady CISC a RISC

- **Kompletní soubor instrukcí** CISC (Complex Instruction Set Computer) Procesory CISC mohou jedním ze svých komplexních příkazů provádět více paměťových operací současně. To zjednodušuje práci kompilátoru a omezuje počet požadovaných registrů. Zato rostou nároky na řídicí jednotku, tedy onu část procesoru, která koordinuje provádění příkazů. Uvnitř procesoru CISC je touto jednotkou zpravidla vlastní procesor. Mikrokódování je typickou implementační technologií ze světa CISC. V ROM čipu jsou přitom uloženy různé mikroprogramy, jejichž úlohou je přeložit komplexní instrukce přímo na čipu do jednoduchých příkazů.
- **Omezený soubor instrukcí** RISC (Reduced Instruction Set Computer) vychází z toho, že pro 80% programů stačí 20% instrukcí z úplného souboru. Sekundárně se tato charakteristika promítla také do názvosloví a tak se hovoří o RISC procesorech. Výrobci vyhodnotili uvedenou statistiku a vybrali jen „nutné“ instrukce. To jim umožnilo zjednodušit jejich dekódování. Jednodušší dekodér je samozřejmě levnější a příznivě se projevuje také v rychlosti a tím ve výkonech. Je však třeba zmínit, že každý výrobce pokládá za nutné instrukce něco trochu jiného a tak nejsou instrukční soubory všech výrobců identické.

4.2 Organizace paměti

Rozdíl mezi Harwardskou a von Neumannovou koncepcí je v organizaci paměti. Harwardská má programovou a datovou paměť oddělenou, kdežto von Neumannova architektura má pro obě paměti společný adresný prostor (obr.9).



Obr 9: Harwardská a von Neumannova koncepce organizace paměti

4.3 Některé známé rodiny mikrokontrolérů

- **8051** - Vyvinutý firmou Intel jako následovník mikrokontroléru 8048. Byl uvedený na trh v roce 1980 a od té doby licencovaný velkým množstvím firem (známějších Philips, Atmel, Dallas Semiconductor, Winbond, SST a mnohé jiné). I když jej Intel už nevyrábí, je nadále vyráběný v množství klonů a variant. Je také mimořádně populární jako řídicí jádro zákaznických specifikovaných integrovaných obvodů (tzv. ASIC - Application Specific Integrated Circuit).
- **PIC** - Firma Microchip odkoupila jádro PIC od krachující firmy General Instruments a dále ho vyvíjela. Vyznačuje se mimořádně jednoduchou strukturou a malým množstvím instrukcí, proto je nesprávně označován jako RISC. Vyrábí se v několika rodinách - PIC12, PIC16, PIC17, PIC18, dsPIC - lišících se výkonem, avšak s podobnou instrukční sadou. Velkou předností mikrokontrolérů PIC je jejich nízká spotřeba, především při nízkých frekvencích.
- **AVR** - Vyvinutý norskou pobočkou firmy Atmel koncem devadesátých let jako jeden z mála nových mikrokontrolérů posledních dvou desetiletí. I když se jedná o 8-bitové jádro, bylo vyvíjené s ohledem na snadnou programovatelnost v jazyku C a nese znaky procesorů typu RISC. Díky poměrně vysokému výkonu a velkému množství typů s množstvím zabudovaných periférií a hlavně velmi příznivé ceně i při nízkých objemech získal obrovskou popularitu.
- **Z8** - Společnost Zilog modifikovala svůj legendární 8-bitový mikroprocesor Z80 do podoby mikrokontrolérů s označením Z8.

- **MPS430** - Řada mikrokontrolérů společnosti Texas Instruments se 16-bitovými prvky a poměrně nízkou spotřebou.
- **HC(S)12** - Řada mikrokontrolérů společnosti Freescale (předtím Motorola).
- **ARM** - Legendární 32-bitový mikroprocesor pocházející od společnosti Acorn je v poslední době využíván mnoha výrobci i jako jádro výkonných mikrokontrolérů a obvodů typu SoC (systém on Chip). Jde o integrované obvody, které obsahují kromě vlastního procesoru i další subsystémy pro zpracování grafiky, zvuku či připojení periférií (ty jsou v osobních počítačích obvykle v tzv. chipsetech nebo na samostatných kartách). Takovéto SoC se používají v PDA, herních konzolách, domácí elektronice, ale i v mobilních telefonech..

4.4 Seznam nejznámějších výrobců mikrokontrolérů

- Intel
- Atmel
- NEC Electronics
- NXP Semiconductors – potažmo Philips
- Winbond
- Dallas/Maxim
- STM
- Microchip
- Freescale
- Zilog
- Texas Instruments
- National Semiconductor
- Toshiba
- Fujitsu
- Sharp
- Hitachi

4.5 Atmel AVR ATmega8

Vzhledem k dostupnosti, ceně a množství dostupných informací jsem se rozhodl pracovat s MCU rodiny AVR firmy Atmel konkrétně typem Atmega8 (obr.10).



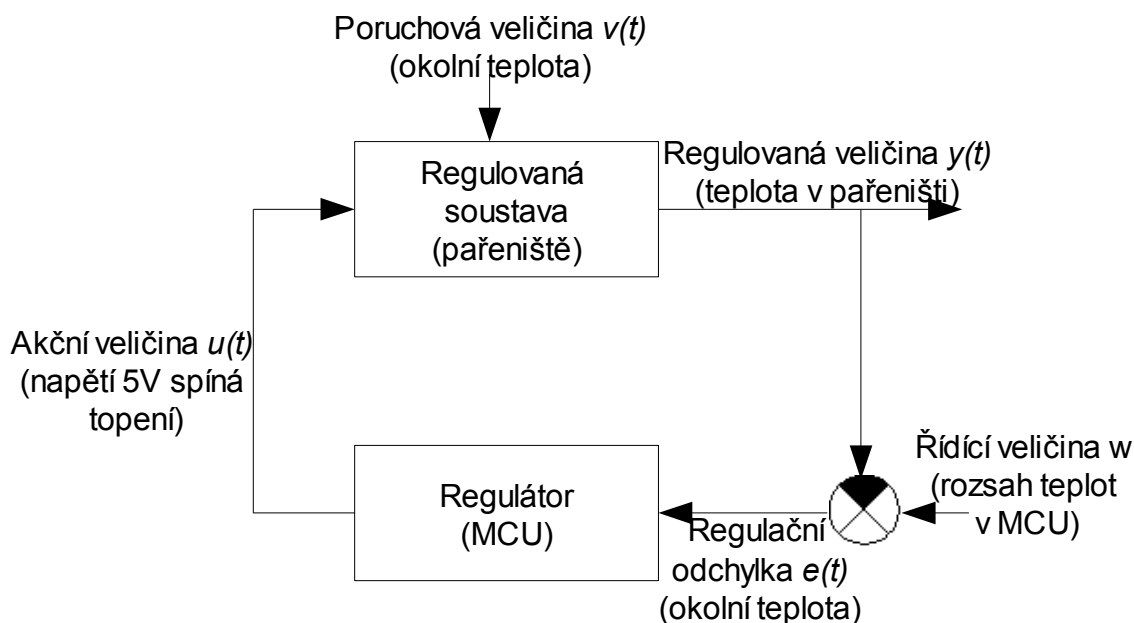
Obr 10: ATmega8

Níže uvedené hodnoty jsou pro provedení Atmega8-16PU. Některé hodnoty se u jiných provedení liší.

- ✓ nízkopříkonový 8-bitový mikrokontrolér
- ✓ rozšířená RISC architektura dle Harwardské koncepce
 - 130 výkonných instrukcí-nejjednodušší hodinový cyklus provádění
 - 32 hlavních 8-bitových pracovních registrů
 - plně statické operace
 - až 16 MIPS při maximální frekvenci 16 Mhz
 - integrovaná 2-cyklová násobička
- ✓ Trvalá datová a programová paměť
 - 8kB programovatelné Flash paměti. Odolnost: 10 000 zapisovacích/čtecích cyklů
 - 512 Bytů EEPROM paměti. Odolnost: 100 000 zapisovacích/čtecích cyklů
 - 1kB interní SRAM
 - zámek pro ochranu software
- ✓ Periférie
 - Dva 8-bitové časovače/čítače s odděleným prescalerem, jeden compare mod
 - Jeden 16-bitový časovač/čítač s odděl. prescalerem, jeden compare mod a capture mod
 - Hodiny reálného času s odděleným oscilátorem
 - Tři PWM kanály (pulzně šířková modulace)
 - 6 kanálů ADC, 8 kanálů s 10-bitovou přesností
 - Bytově orientované dvouvodičové sériové rozhraní (TWI sběrnice)
 - Programovatelný sériový USART
 - Master/Slave SPI sériové rozhraní
 - Integrovaný analogový komparátor
- ✓ Speciální vlastnosti mikrokontroléru
 - Reset při zapnutí a programovém poklesu napětí
 - interní kalibrovaný RC oscilátor
 - Interním a externí zdroj přerušení
 - pět spacích módů: nečinnost, redukce šumu ADC, ukládání, snížení výkonu, záložní
 - vstupny a výstupy
 - 23 programovatelných I/O linek
 - 28-pinový PDIP
 - operační napětí 2,7 – 5,5V

5 VLASTNÍ KONSTRUKCE

5.1 Schéma regulačního obvodu



5.2 Model pařeniště

Model pařeniště (obr.10) byl zkonstruován pouze pro účely této bakalářské práce a byl kladen důraz na jednoduchost a dostupnost jednotlivých dílů. Pařeniště se skládá z plechovky v níž je umístěna 40W žárovka, která slouží k vytápění pařeniště. V horní části plechovky je rošt pro umístění květináče a na plechovku je nasunuta petláhev bez hrdla, na jejímž dně je umístěno teplotní čidlo LM35DZ. I přes jednoduchost modelu je tento blízký reálné aplikaci.

Hlavní funkce jsou:

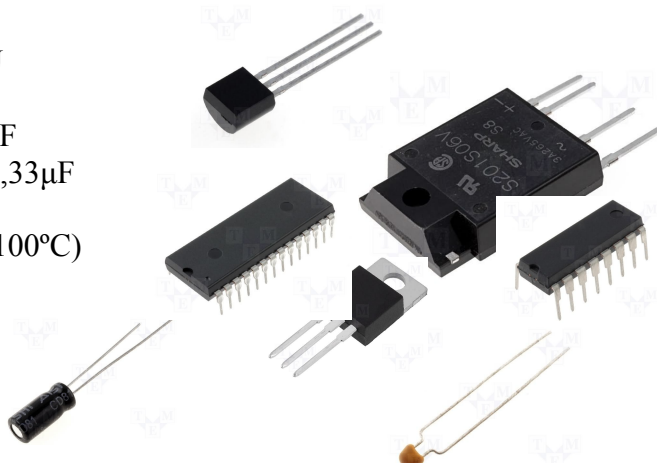
- kontrola teploty v pařeništi
- kontrola okolní teploty
- spínání ohřevu v závislosti na teplotě



Obr 11: Pařeniště

5.3 Seznam použitých součástek

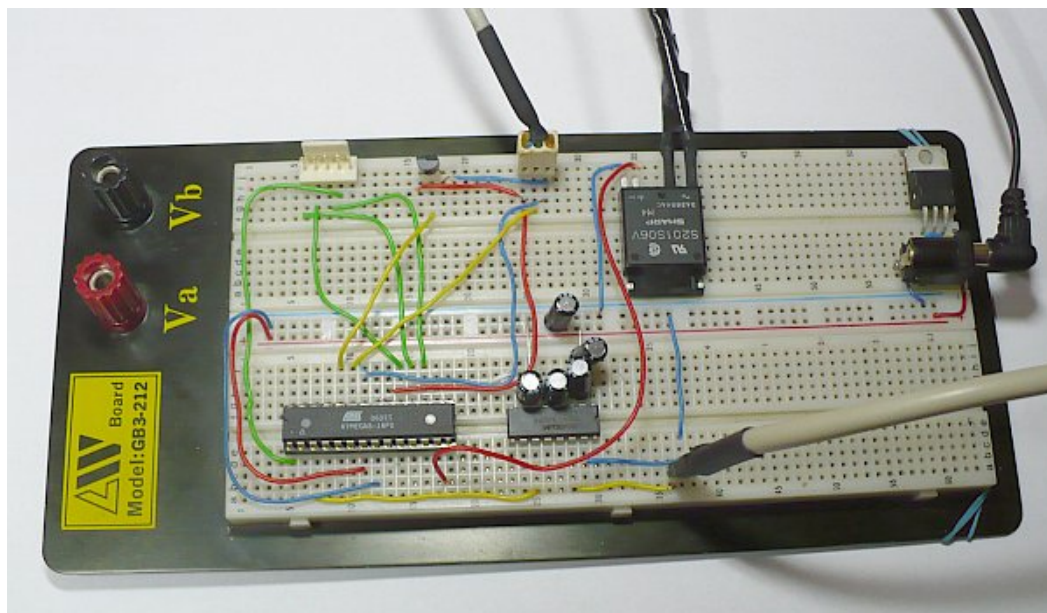
Mikrokontrolér – ATmega8[™]-16PU
 Integrovaný obvod - Max232CP
 Elektrolitický kondenzátor – 5x 1 μ F
 Keramický kondenzátor – 0,1 μ F; 0,33 μ F
 Stabilizátor napětí – 7805 STM
 Teplotní senzor – 2x LM35DZ (0-100°C)
 Rezistory – 2x 2k
 Napájecí zdroj – 8-12V DC
 Spínací relé – Sharp S201S06V
 Kabel k RS232
 Konektory – 1x5pin, 1x3pin



5.4 Realizace obvodu

Obvod byl realizován na nepájivém univerzálním poli (obr.12) . Schéma zapojení je v **příloze 8.2** na konci této práce.

Obvod je napájen stejnosměrným napětím 5V. Napájení senzorů je realizováno vnitřním referenčním napětím mikrokontroléru 2,54V. Ze senzorů je přiváděno napětí na desetibitový ADC. Informace z převodníku zpracovává program v MCU, který naměřené hodnoty odesílá po sériové lince do převodníku MAX232, který převede signál TTL a odešle na RS232 počítače.



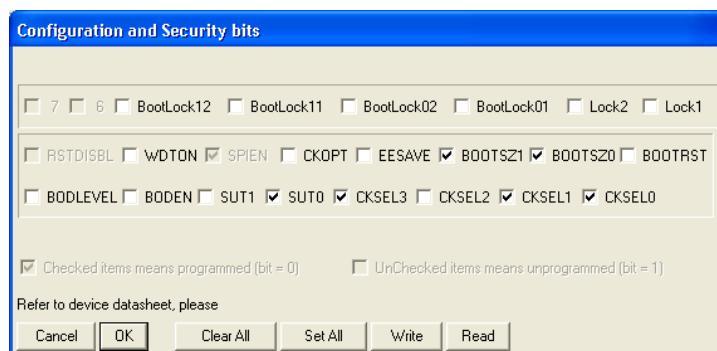
Obr 12: Realizace regulačního obvodu na nepájivém poli

5.5 Naprogramování mikrokontroléru

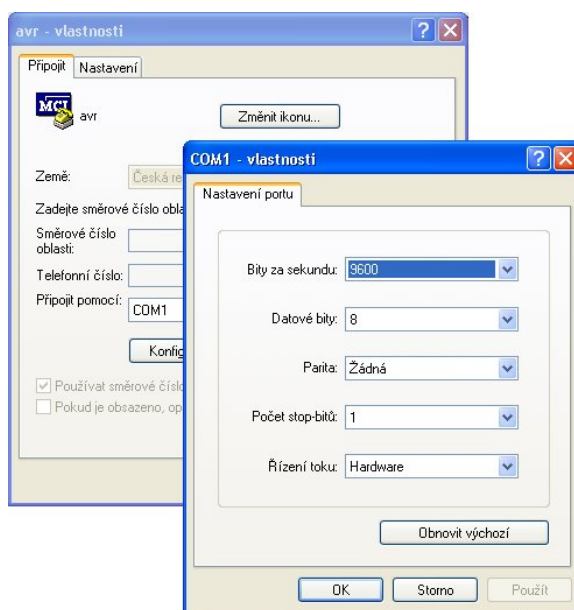
Program byl napsán v jazyce C pomocí volně dostupného programu „AVR studio“ od firmy Atmel a pomocí tohoto dále zkompileován do souboru `teplomer.hex`. Program lze stáhnout z firemního webu www.atmel.cz. Popis jednotlivých příkazů a funkcí uvádím přímo ve zdrojovém souboru `teplomer.c` (viz. **příloha 8.3**).

Pro nahrání programu (`teplomer.hex` souboru) do mikrokontroléru jsem použil volně šiřitelný program PonyProg, který je dostupný na adrese www.lancos.com.

Pro odladění programu jsem použil program Hyperterminál operačního systému Windows. Pro bezchybnou komunikaci mikrokontroléru s Hyperterminálem bylo nutné nastavit konfigurační bity MCU v programu Ponyprog a konfiguraci Hyperterminálu takto:



Obr 13: Nastavení konfiguračních bitů v programu PonyProg



Obr 14: Nastavení vlastností připojení Hyperterminálu Windows

5.6 Program „Pařeniště“

Tento program nahrazuje program Hyperterminál, který jsem používal při ladění programu v jazyku C pro MCU. Jde o panel, který nás informuje o teplotě obou senzorů; tedy o teplotě v pařeništi a teplotě okolí. Program dále umožňuje automatický záznam teplot do tabulky, ze které lze data přenést např. do tabulkového procesoru (Excel, Calc). Záznam probíhá po kliknutí na tlačítko „Start“ a poté automaticky při každém zvýšení teploty v pařeništi.

Program byl naprogramován pomocí aplikace Lazarus postavené na programovacím jazyce FreePascal. Programování i prostředí je podobné Delphi. Program Lazarus je volně šiřitelný a lze ho stáhnout na www.lazarus.freepascal.org. Pro komunikaci se seriovým portem byla využita opět volně šiřitelná knihovna (unita) Synaser www.ararat.cz/synapse.

Na příloženém CD je program zkompileován do souboru „pareniste.exe“, který lze spustit v operačním systému Windows XP. Před spuštěním programu musí být připojeno zařízení k sériovému portu COM1, jinak dojde k chybě a program bude ukončen.



Obr 15: Program "Pařeniště"

6 METODIKA MĚŘENÍ

6.1 Kalibrace

Kalibrace umožňuje přesné nastavení senzorů. Kalibraci v navrženém modulu není nutné provádět, protože senzor LM35DZ je konstruován tak, že na každých naměřených 10mV je jeden °C a tudíž kalibrován výrobcem [8].

V případě nepřesností lze upravit teplotu ve zdrojovém kódu mikrokontroléru, případně vyhodnocovacím programem v PC.

6.2 Měření

- 1) připojíme modul přes sériový port k PC
- 2) zapojíme jednotlivá čidla do modulu
- 3) přivedeme zdroj napětí
- 4) spustíme program „Pařeníště“

Program „Pařeníště“ podává jednoduchou informaci o okolní teplotě a teplotě uvnitř pařeníště. Rozsah teplot v pařeníšti se nastavuje přímo ve zdrojovém kódu MCU. Standartně jsem nastavil rozsah teplot od 30 do 35 °C, jako vhodný pro demonstraci systému.

Do programu „Pařeníště“ jsem implementoval stopky s automatickým zápisem měření při startu dokud měření nestopneme. Zápis je nastaven tak, aby zapsal záznam při vzrůstu teploty v pařeníšti o jeden °C. Data lze z programu zkopírovat (ctrl+c, ctrl+v) do tabulkového procesoru (Calc, Excel) a dále zpracovávat.

Při ladění programu je vhodnější používat pro příjem dat ze sériového portu Hyperterminál systému. Zde vidíme přesný formát dat, který odchází z MCU.

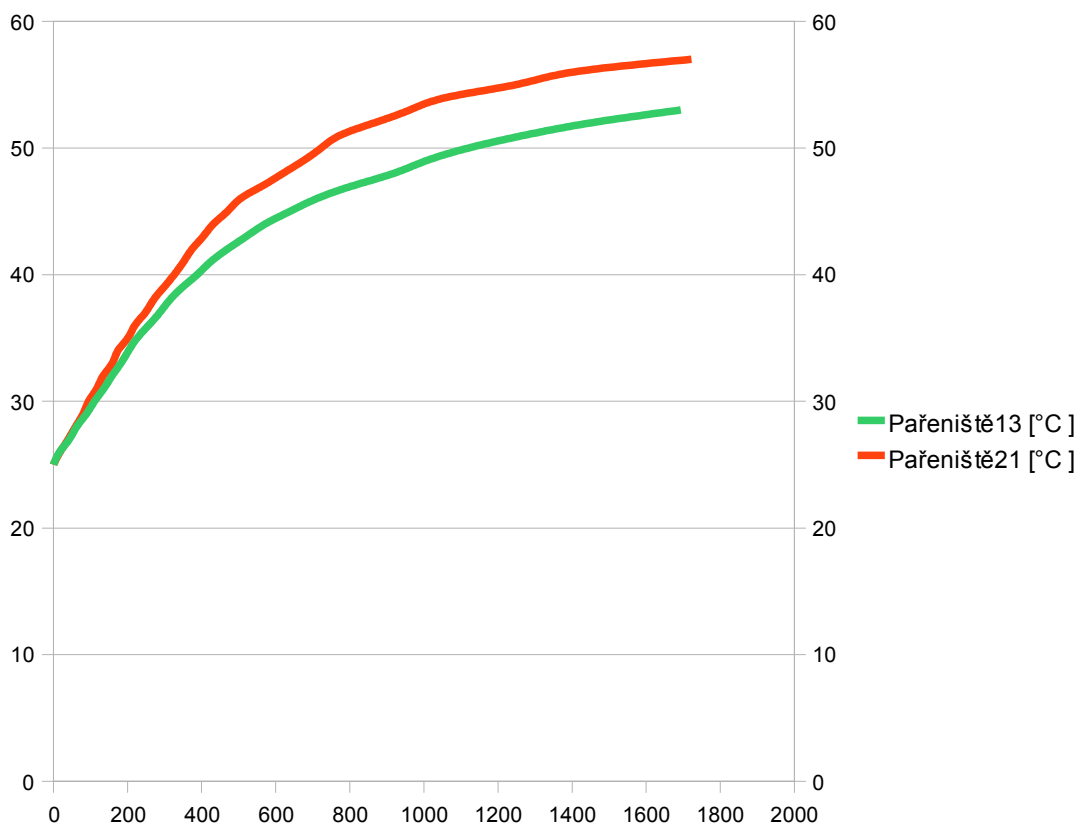
Při svých měřeních jsem dosáhl maximální teplotu v pařeníšti 59°C při teplotě okolí 23°C za dobu 47 minut. Vyšší teploty by vedly k poškození petláhve.

6.3 Výsledky měření

Měřením jsem zjišťoval maximální teplotu dosaženou nepřetržitým ohřevem za dobu 30 minut. Rozsah teplot v MCU jsem nastavil 25-60°C. Měření jsem opakoval při dvou různých teplotách okolí (ráno při 13°C a v poledne při 20°C). Po uplynutí doby 3'0 minut již teplota stoupala velmi pomalu resp téměř vůbec, tudíž jsem měření ukončil. Jako počáteční teplotu jsem zvolil 25°C. Každé měření jsem opakoval 3x s podobnými výsledky. Výsledky měření a graf uvádím níže. Teplotou okolí je myšlena teplota okolního prostředí.

Měření při okolní teplotě 13°C			Měření při okolní teplotě 21°C		
Cas [s]	Cas	Pařeniště13 [°C]	Cas [s]	Cas	Pařeniště21 [°C]
0	00:00:00	25	0	00:00:00	25
17	00:00:17	26	18	00:00:18	26
43	00:00:43	27	40	00:00:40	27
63	00:01:03	28	60	00:01:00	28
89	00:01:29	29	80	00:01:20	29
111	00:01:51	30	95	00:01:35	30
136	00:02:16	31	117	00:01:57	31
158	00:02:38	32	134	00:02:14	32
182	00:03:02	33	159	00:02:39	33
203	00:03:23	34	174	00:02:54	34
226	00:03:46	35	201	00:03:21	35
257	00:04:17	36	220	00:03:40	36
287	00:04:47	37	248	00:04:08	37
314	00:05:14	38	270	00:04:30	38
348	00:05:48	39	298	00:04:58	39
388	00:06:28	40	326	00:05:26	40
424	00:07:04	41	351	00:05:51	41
469	00:07:49	42	374	00:06:14	42
520	00:08:40	43	404	00:06:44	43
572	00:09:32	44	432	00:07:12	44
639	00:10:39	45	470	00:07:50	45
711	00:11:51	46	505	00:08:25	46
807	00:13:27	47	564	00:09:24	47
919	00:15:19	48	620	00:10:20	48
1007	00:16:47	49	675	00:11:15	49
1121	00:18:41	50	723	00:12:03	50
1271	00:21:11	51	774	00:12:54	51
1455	00:24:15	52	868	00:14:28	52
1693	00:28:13	53	962	00:16:02	53
			1063	00:17:43	54
			1249	00:20:49	55
			1405	00:23:25	56
			1722	00:28:42	57

Tabulka 1: Výsledky měření teploty v pařeništi při ohřevu



7 ZÁVĚR

7.1 Přínosy

Přínosem této práce je ukázka velmi jednoduché a levné alternativy automatického řízení systému v závislosti na teplotě. Obvod lze využít jak pro výuku, laboratorní cvičení, tak pro použití v automatizaci.

Práce jasně vysvětluje základní principy programování MCU. Nespornou výhodou modulu je to, že četná rozhodnutí o reakcích na stav systému probíhá v MCU a PC přijímá již jen výsledky.

Osobně mi tato práce přinesla praktické znalosti v elektronice a programování MCU. Hodně si cením nabitých znalostí jazyka C a seznámení s programovacím prostředím Lazarus. Hlavním přínosem je celková znalost a zkušenost s konstrukcí velmi levné (cca 300,- CZK) alternativy pro automatizaci a regulaci.

7.2 Další možnosti

Analogicky lze odvodit řízení systému pomocí jiných čidel a senzorů s měřitelným výstupem napětí, proudu nebo odporu. Uvážím-li použití při automatizaci skleníku či pařeniště, lze obvod rozšířit o měření i řízení vlhkosti, větrání či zavlažování a další. Použitím kvalitnějších senzorů a drobnými úpravami obvodu, lze provádět i velmi přesná měření.

Pokud jde o tento modul, nabízí se možnost nastavení rozsahu teplot v programu „Pařeniště“, zaznamenávání teploty do souboru a její grafické vyhodnocování, sledování času ohřevu a vyhodnocení nákladů na topení apod.

Vzhledem k tomu, že má modul zpřístupněny veškeré vstupy a výstupy MCU, nabízí se k rozsáhlým experimentům s obvodem ATmega8. Mnou navržený obvod využívá HW kapacitu MCU minimálně a bylo by nasnadě zjistit jeho skutečné možnosti. V amatérské robotice jde snad o nejrozšířenější MCU.

Výsledky cvičení nebo experimentů lze jednoduše odesílat na RS232 sériový port nebo při použití HW převodníku i na USB.. Po nastudování standardů pro USB a naprogramování lze softwarově komunikovat i přes tento port, bez jakéhokoliv přídavného obvodu. Je však nutné naprogramovat také ovladač na straně PC a je ubrán omezený prostor pro řídicí program.

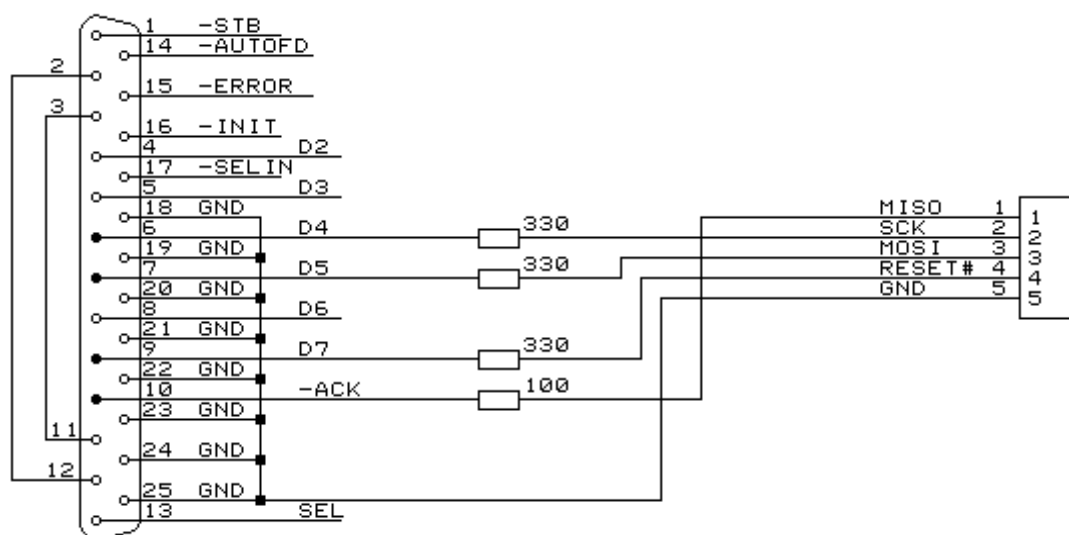
7.3 Obsah přiloženého CD-ROM

K práci je přiložen CD-ROM s tímto obsahem:

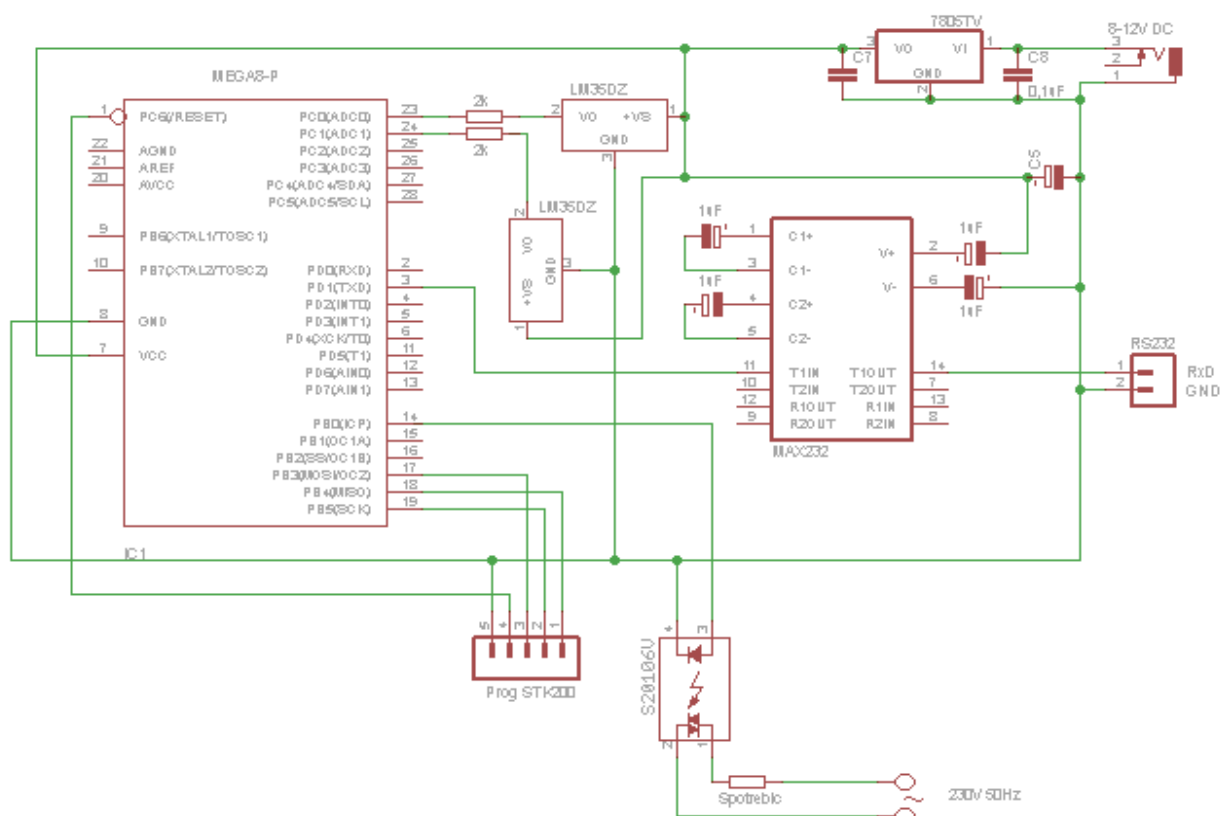
- Složka **Pařenište** – obsahuje zdrojové soubory programu „Pařeniště“ pro program Lazarus. Obsahuje také zkompilovaný program pareniste.exe spustitelný v OS Windows XP po připojení zařízení k sériovému portu.
- Složka **Freeware** – obsahuje volně šířitelný software vyžítý při tvorbě bakalářské práce
- Složka **MCU** – obsahuje výstupní soubory AVR studia (zdroj v C, *.hex soubor pro MCU,...)
- Složka **Datasheets** – obsahuje technické listy k některým použitým součástkám

8 PŘÍLOHY

8.1 Schéma ISP programátoru STK200



8.2 Schéma měřicího a regulačního obvodu



8.3 Program v jazyku C pro MCU

```

#include <stdio.h>           //definice použitých knihoven funkcí
#include <avr/io.h>
unsigned int vysledek;      //teplota uvnitř
unsigned int vysledek1;     //teplota venku
unsigned int i;
unsigned int i1;

static int uart_putchar(char c, FILE *stream);
static FILE mystdout = FDEV_SETUP_STREAM(uart_putchar, NULL, _FDEV_SETUP_WRITE);

/***** INICIALIZACE UART *****/
int init_uart()
{
    UBRRL = 51;                //nastavení rychlosti
    UCSRB = (1<<TXEN);        //povolení vysílání na TxD
    UCSRC = (1<<URSEL)|(3<<UCSZ0); //nastavení režimu
    return 0;
}
/***** POSLÁNÍ ZNAKU NA UART *****/
static int uart_putchar(char c, FILE *stream)
{
    loop_until_bit_is_set(UCSRA, UDRE); //nastavení po vyslání
    UDR = c;                             //vysílaný znak do UDR
    return 0;
}
/***** ČTENÍ Z A/D PŘEVODNÍKU *****/
unsigned int read_adc(unsigned char kanal)
{
    ADMUX=kanal;                //určí převáděný kanál
    ADCSRA|=0x40;               /*Bit 6 - spouští celou konverzi. Při ukončení převodu
                                je tento bit hardwarově nulován */
    while ((ADCSRA & 0x10)==0); /*opakuj dokud 4.bit roven 0 (AND) - po dokončení konverze
                                se hardwarově nastaví 4.bit na 1*/
    ADCSRA|=0x10;               //vynuluj 4. bit (OR)
    return ADCW;                /*ADCW jsou spojeny registry ADCL a ADCH
                                ve kterých je výsledek převodu*/
}
/***** HLAVNÍ PROGRAM *****/
int main()
{
    DDRB |= _BV(PB0);
    ACSR=0x80;                  /*Bit 7 – ACD: Analog Comparator Disable – nastavení
                                tohoto bitu odpojí napájení komparátoru a slouží
                                tedy k minimalizaci spotřeby. */
    SFIOR=0x00;                 //vynulování - vypnutí multiplexeru komparátoru
    ADMUX=0x60;                 /*Bit 7:6 = 1:1 - vybírá zdroj referenčního napětí
                                dle kombinace bitů - 00-AREF, 01-AVCC, 11-vnitřní*/

    ADCSRA=0x87;                /*0x87=10000111 první tři bity nastavují dělicí poměr
                                pro odvození hodinového signálu ADC převodníku z hodinového
                                kmítu CPU (zde 128). 7.bit povoluje funkci ADC převodníku*/

    init_uart();
    stdout = &mystdout;
    // následující smyčka čte výsledek z ADC a odesílá na RS232
    while(1)

```



```
{
    for (i=0;i<25;i++)
    { //smyčka sčítá jednotlivé teploty 25x
        vysledek1 = vysledek1 + (read_adc(1)/(2540/1024)); // přepočet hodnoty z převodníku na °C
        vysledek= vysledek + (read_adc(0)/(2540/1024)); // přepočet hodnoty z převodníku na °C
        for(i1=0;i1<15000;i1++); // spomalovací smyčka
    }

    vysledek=(vysledek/25); //Průměr z 25 měření předchozí smyčky
    vysledek1=(vysledek1/25); //Průměr z 25 měření předchozí smyčky

    //následující podmínky nastaví rozsah teploty v pařeništi
    if (vysledek<30) PORTB |= _BV(PB0);
    if (vysledek>35) PORTB &= ~(_BV(PB0));

    printf("%u_%u_%u ",vysledek, vysledek1, PORTB); //vysílaný text
}
return 0;
}
```


9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Matoušek David.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR – Atmega16, BEN, 2006
- [2] Kreidl Marcel: Měření teploty – senzory a měřicí obvody, BEN, 2005
- [3] Váňa Vladimír: ATMEL AVR Programování v jazyce C, BEN, 2006
- [4] Kračmar Stanislav, Vogel Jiří: Programovací jazyk C, ČVUT, 2002
- [5] Burkhard Mann: C pro mikrokontroléry, BEN, 2004
- [6] Burkhard, Kainka: Využití rozhraní PC, HEL, 1997
- [7] Král Jiří: Základy programování jednočipových mikropočítačů v assembleru a jazyku C, skripta
SPŠE Rožnov pod Radhoštěm
- [8] Datasheets ATmega8, LM35, MAX232, 7805ST
- [9] <http://www.cmi.cz/>, Český metrologický institut
- [10] <http://www.e-automatizace.cz/>, Informační portál z oblasti automatizace
- [11] <http://www.hw.cz/>, Technický server zaměřený na oblast elektroniky
- [12] <http://www.robotika.cz/>, informace o programování MCU ATmega8
- [13] <http://www.wikipedia.cz>, Otevřená mezinárodní encyklopedie
- [14] <http://www.FreePascal.org> – informace o programování v prostředí Lazarus